

ISBN 978-602-8206-33-4

# Seminar Nasional

Dalam Rangka Dies Natalis ke 51 UPN VY  
dan 10 Windu Prof. R. Bambang Soeroto



**MEMANTAPKAN PERAN UPN VY DALAM  
MENGEMBANGKAN IPTEK KEBUMIHAN UNTUK  
PEMBANGUNAN BERKELANJUTAN**

## PROSIDING

Editor:  
Barlian Dwinagara  
Nur Ali Amri  
M.Th. Kristiati

**PENYELENGGARA :**

**FTM UPN "VETERAN" YOGYAKARTA  
IA UPNVY - IAGEO - IKATA - IAMI  
2010**

# Seminar Nasional

**FAKULTAS TEKNOLOGI MINERAL  
UPN "VETERAN" YOGYAKARTA**

**Memantapkan Peran UPN "Veteran" Yogyakarta dalam  
Mengembangkan Iptek Kebumihan untuk Pembangunan  
Berkelanjutan**

Ketiga, kami mengucapkan terimakasih kepada Dekan Fakultas Teknologi Mineral (FTM) UPN "Veteran" Yogyakarta atas kepercayaan yang diberikan kepada kami untuk menyelenggarakan Seminar Nasional Kebumihan dalam rangka Dies Natalis ke 51 UPN "Veteran" Yogyakarta, sekaligus juga dalam rangka Ulang Tahun Prof. Drs. HR. Bambang Soeroto yang ke 80.

Secara khusus saya juga menyampaikan terimakasih kami kepada Panitia, yang dalam waktu relatif singkat – hanya sekitar satu bulan – mampu bersinergi melaksanakan tugas kepanitiaan dengan baik.

Tema seminar kali ini adalah "Memantapkan Peran UPN "Veteran" Yogyakarta dalam Mengembangkan Iptek Kebumihan untuk Pembangunan Berkelanjutan", sebuah tema yang diberikan oleh Dekan – ketika akan membentuk kepanitiaan ini – sebagai bentuk penghargaan sekaligus kepedulian beliau terhadap seberapa besar kontribusi yang mestinya UPN "Veteran" Yogyakarta kepada bangsa dan negara, berkaitan dengan kebumihan, sebab realitas yang tak terbantahkan mengatakan bahwa UPN yang telah melahirkan tidak sedikit human resources yang berkiprah di berbagai lini pekerjaan, baik di level pemerintahan maupun swasta.

Akhir kata, kegiatan ini sudah terlaksana. Tinggal bagaimana selanjutnya dari berbagai gagasan dan hasil pemikiran yang berkembang pada acara ini dapat diimplementasikan UPN "Veteran" Yogyakarta dalam mengerjakan serta mewujudkan visi dan misinya ke depan.

Yogyakarta, Februari 2010

Ketua



**FTM UPN "VETERAN" YOGYAKARTA  
IA UPNVY - IAGEO - IKATA - IAMI  
2010**

**Memantapkan Peran UPN “Veteran” Yogyakarta dalam Mengembangkan Iptek  
Kebumihan untuk Pembangunan Berkelanjutan**

**DAFTAR ISI**

	<b>JUDUL</b>	<b>HAL.</b>
	KATA PENGANTAR	i
	SAMBUTAN DEKAN FAKULTAS TEKNOLOGI MINERAL	ii
	DAFTAR ISI	iii-iv
1	Peran UPN “Veteran” dalam Mengembangkan Iptek Kebumihan <i>Prof. Partanto Prodjosumarto</i>	1-4
2	Cukupkah Bekal Wawasan Pembangunan Berkelanjutan dari Para Alumni Kita? <i>Prof. Ir. Dahono Haryanto, MSc., Ph.D.</i>	5-12
3	Peran UPN “Veteran” dalam Mengembangkan Iptek Kebumihan <i>Prof. Dr. Ir. C. Danisworo, MSc.</i>	13-15
4	Tantangan Rezim Hukum Sumberdaya Alam <i>Jauhari Thonthowi, Ph.D.</i>	16-17
5	Konservasi Sumber Daya Geologi dan Upaya Pelaksanaannya <i>Dr. Ir. Hadiyanto, MSc.</i>	18-21
6	CSR di Industri Pertambangan dan Isu Pengembangan Wilayah di Indonesia <i>Dr. Ir. S. Kosnaryo, MSc.</i>	22-27
7	Fenomena <i>Hang Up</i> Dalam Karakteristik Penyusutan Material Hasil Peledakan pada Metode <i>Shrinkage Stopping</i> <i>Barlian Dwinagara</i>	28-39
8	Motivasi “WIMAYA” pada Eksistensi Moralitas Keberpihakan terhadap Rakyat. <i>Nur Ali Amri</i>	40-49
9	Pembuatan Aplikasi Pemrograman Blending Batugamping Untuk Studi Kasus Pencampuran Batugamping Beda Kadar di Blok H - Blok OO PT. Semen Gresik Tbk Pabrik Tuban Jawa Timur Menggunakan Program Visual Basic 6.0 <i>Untung Sukamto, Nurkhamim, Victor Habib Avesina</i>	50-65

**Memantapkan Peran UPN "Veteran" Yogyakarta dalam Mengembangkan Iptek  
Kebumian untuk Pembangunan Berkelanjutan**

- |    |  |         |
|----|--|---------|
| 10 | Sumberdaya Gas Metana Batubara di Cekungan Barito Berdasarkan Data Lapangan Tambang Terbuka di Daerah Tanjung, Tapin dan Benuang, Kalimantan Selatan.<br><i>Sugeng</i>           | 66-74   |
| 11 | Identifikasi Bahan Galian Dalam Metode Eksplorasi Awal<br><i>Firdaus Maskuri</i>   | 75-83   |
| 12 | Pemodelan Inversi Data Magnetotellurik 1-D Menggunakan Metoda Genetic Algorithm (GA) dengan Populasi Micro Genetic Algorithm Kasus 3 Layer dan 5 Layer<br><i>Nia Maharani</i>    | 84-101  |
| 13 | Salinitas Sumur Injeksi Pembuangan Air W Lapangan D, Cekungan Sumatera Selatan<br><i>Bambang Triwibowo</i>   | 102-113 |
| 14 | Perkiraan Awal Daerah Kritis Pada Pipa Transmisi Gas Akibat Proses Line Packing<br><i>Harry Budiharjo S.</i>   | 114-129 |
| 15 | Kajian Teknis Re-Opening Sumur Tua Di Wilayah Jawa Tengah<br><i>Sayoga Heru Prayitno</i>   | 130-144 |
| 16 | Estimasi Potensi Statik Lapangan Panasbumi "X " Menggunakan Simulasi Monte Carlo Untuk Pengembangan PLTP<br><i>M. Th. Kristiati, EA, Eko Widhi Pramudiodhadi, Bakhtiar Fauzi</i> | 145-155 |
| 17 | Analisis Terjadinya Water/Gas Cresting dengan Metode Analitis<br><i>Bambang Bintarto</i>   | 156-170 |
| 18 | Analisa Test Pressure Build-Up Dengan Menggunakan Simulator Saphir V 3.20<br><i>Suranto, Anas Puji Santosa, Aulia Rahman</i>   | 171-179 |
| 19 | Analisis Air Formasi untuk Identifikasi Scale pada Lapangan Panasbumi Dieng<br><i>Dyah Rini Ratnaningsih, Ekowidi, MTh. Kristiati, Fitri Andriani</i>                            | 180-189 |
| 20 | Studi Alterasi Hidrotermal Pada Sistem Epitermal Sulfidasi Tinggi Daerah Serinding, Desa Petai Patah, Kec. Sandai, Kab. Ketapang, Prop. Kalimantan Barat.<br><i>Suprpto</i>      | 190-211 |
| 21 | Upaya Rehabilitasi Lahan Tailing Akibat Penambangan Bijih Tembaga<br><i>Waterman Sulistyana B., Daniel Bassang</i>   | 212-220 |

## ANALISIS TERJADINYA WATER/GAS CRESTING DENGAN METODE ANALITIS

Ir. Bambang Bintarto, MT

Jur. T. Perminyakan UPN "Veteran" Yogyakarta

### Abstract

*Water/gas cresting is one of phenomena where the water/gas is produced earlier than expected (like coning in vertical well). The appearance of water and gas continually in hydrocarbon formation is commonly happens in the production. In this case there are 2 forces occurred in the interface between oil and gas/water. The forces are viscous force as the effect of fluid production and gravitational force as the consequence of differential density between 2 unmixed fluid which is tend to balance the viscous force. If the viscous force exceeds the gravitational force (the production fluid is produced more than its capacity), the crest will be formed and develop to the well until the balance between them is happened in the certain height.*

*In order to know the behavior of this crest, the analysis of cresting consist of identification and determination of critical rate and also breakthrough time must be needed. From this analysis, hopefully the actual production can be controlled to get the optimally recovery from the reservoir.*

### Sari

*Air / gas cresting adalah salah satu fenomena pada sumur horizontal di mana air / gas terproduksi lebih awal dari yang diharapkan (seperti coning pada sumur vertikal). Adanya air dan gas di reservoir pada umumnya akan terlihat juga dari perilaku produksinya. Dalam kasus ini terdapat 2 gaya yang ada pada antarmuka minyak dan gas / air yaitu gaya viskos sebagai efek dari fluida produksi dan gaya gravitasi sebagai konsekuensi dari perbedaan kerapatan antara 2 macam fluida yang bercampur. Jika gaya viskos melebihi gaya gravitasi (sumur berproduksi lebih dari kapasitasnya), maka cresting akan terbentuk dan berkembang ke sumur sampai terjadi keseimbangan diantara keduanya pada suatu ketinggian tertentu*

*Untuk mengetahui peristiwa terjadinya cresting ini, dilakukan analisis cresting meliputi : identifikasi dan menentukan laju produksi kritis dan juga breakthrough time. Dari analisis ini, diharapkan produksi aktual dapat dikontrol untuk mendapatkan perolehan yang optimal dari reservoir.*

## PENDAHULUAN

Sumur-sumur minyak yang berproduksi dari suatu reservoir dengan drive mekanisme "water drive", (*bottom water drive*), saat sumur diproduksi air akan bergerak ke arah lubang bor dalam bentuk kerucut (*cone*). Pada kondisi tertentu air menerobos ke dalam sumur dan mulai terproduksi bersama-sama dengan minyak. Fenomena ini disebut sebagai water coning. Hal ini juga bisa terjadi pada sumur-sumur yang berproduksi pada reservoir bertenaga dorong *gas cap*, dimana gas menerobos ke dalam sumur dan terjadi *gas coning*. Apabila peristiwa tersebut terjadi pada sumur horizontal, disebut sebagai water/gas cresting.

Untuk menganalisis permasalahan coning/cresting ini dilakukan dengan mengidentifikasi penyebabnya. Banyak penulis telah membahas masalah coning dalam bentuk laju produksi kritis (laju produksi maksimum tanpa memproduksi air), water breakthrough dan rasio minyak air setelah breakthrough time. Banyak metode telah dikembangkan untuk meramalkan perilaku ini.

Hampir selama 30 tahun, metode penggunaan gel/polymer yang berfungsi membentuk barrier/penghalang dalam rangka mengontrol produksi air telah dikembangkan dan diterapkan di industri perminyakan. Berbagai macam jenis gel digunakan pada berbagai jenis formasi untuk menyelesaikan berbagai permasalahan yang berhubungan dengan produksi air berlebihan. Namun akibat terbatasnya pengetahuan tentang mekanisme permasalahan produksi air berlebihan tersebut, maka tingkat kesuksesan pemakaian metode tersebut sangat kecil dan menjadi tidak efisien.

## METODOLOGI

Langkah pertama untuk mengetahui penyebab dari adanya produksi air yang berlebihan adalah dengan mengidentifikasi penyebabnya, kemudian baru dicari cara untuk mengontrolnya.

Menurut *K.S. Chan (1995)* ada 3 mekanisme terproduksinya air secara berlebihan pada sumur produksi yaitu : cresting, channeling dan *high-permeability layer breakthrough*.

Pengalaman di lapangan menunjukkan bahwa tiap-tiap permasalahan memiliki penanganan yang berbeda-beda. Metode ini hanya dapat diaplikasikan pada sumur minyak dan tidak dapat diaplikasikan pada sumur gas.

### WOR dan GOR Diagnostik Plot

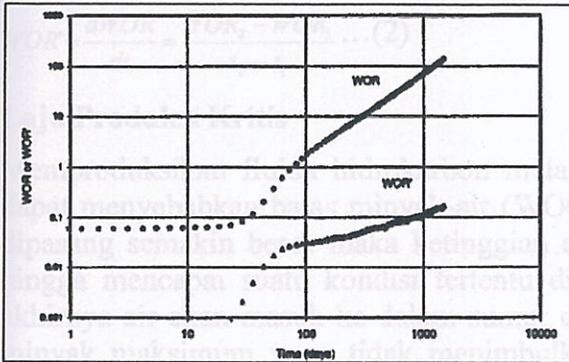
*K.S. Chan (1995)* membuat satu set diagnostic plot yang dilakukan dengan metode simulasi 3 dimensi dengan asumsi black oil dan aliran 3 fasa.

Satu set diagnostic plot tersebut terdiri dari log-log plot antara WOR versus waktu serta log-log plot antara WOR derivatif versus waktu. Melalui satu set diagnostic plot tersebut, dapat dibedakan apakah produksi air yang berlebihan disebabkan oleh cresting atau multi layer channeling.

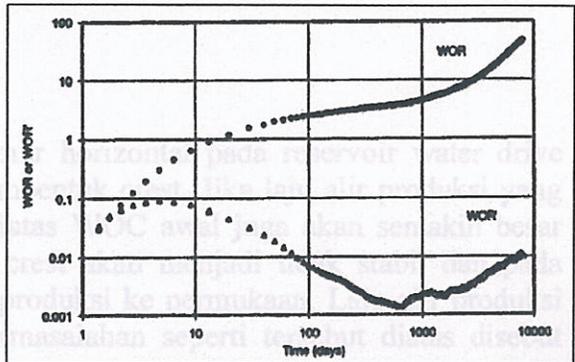
Studi lebih lanjut menyatakan bahwa plot derivatif WOR terhadap waktu dapat digunakan untuk membedakan antara kasus cresting dengan kasus channeling. **Gambar 1** dan **2** menunjukkan WOR dan WOR derivatif untuk *channeling* dan *cresting*. WOR derivatif untuk *channeling* menunjukkan harga slope ( $m$ ) yang cenderung konstan positif sedangkan untuk *cresting* harga slopenya ( $m$ ) cenderung konstan negatif. Hal tersebut juga terlihat pada **Gambar 3** yaitu kasus cresting dimana terjadi *channeling* pada akhir periodenya. Pada kasus tersebut, awalnya WOR derivatif memiliki slope negatif yang mengindikasikan terjadinya

## Memantapkan Peran UPN "Veteran" Yogyakarta dalam Mengembangkan Iptek Kebumihan untuk Pembangunan Berkelanjutan

creasing kemudian pada akhir periode, slope WOR derivatif berubah menjadi positif yang mengindikasikan terjadinya channeling.

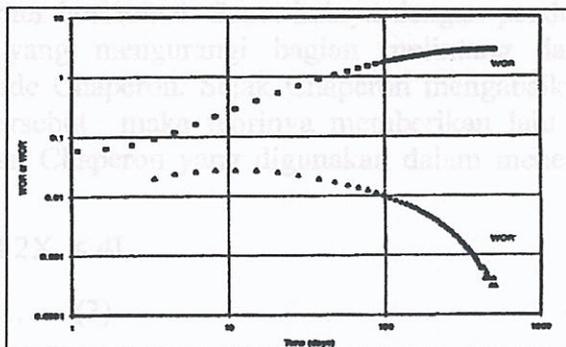


Gambar 1. WOR dan WOR Derivatif Multilayer Channeling (K.S. Chan, 1995)

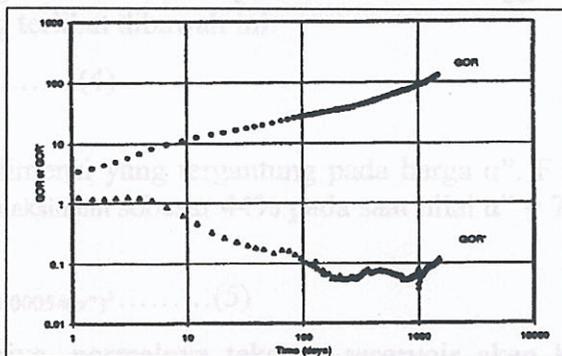


Gambar 2. WOR dan WOR Derivatif Water Cresting serta Channeling Pada Akhir Periode (K.S. Chan, 1995)

Untuk mengidentifikasi terjadinya gas cresting pada sumur minyak dan water cresting maupun channeling pada sumur gas, plot GOR atau WGR berikut derivatifnya dapat digunakan. Sama dengan pernyataan sebelumnya bahwa slope (m) dari derivatif WOR maupun WGR dapat digunakan untuk membedakan mekanisme permasalahan yang terjadi. Slope GOR derivatif yang positif menunjukkan terjadinya channeling sedangkan slope GOR derivatif yang negatif menunjukkan terjadinya gas cresting. Diagnostic plot terjadinya gas cresting dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 3. WOR dan WOR Derivatif Water Cresting (K.S. Chan, 1995)



Gambar 4. GOR and GOR Derivatif Gas Cresting (K.S. Chan, 1995)

Untuk mengidentifikasi dengan menggunakan WOR dan WOR derivative digunakan Persamaan 1 dan 2 water cresting di sumur minyak. Sedangkan untuk kasus gas cresting, WOR diganti menjadi GOR.

## Memantapkan Peran UPN "Veteran" Yogyakarta dalam Mengembangkan Iptek Kebumihan untuk Pembangunan Berkelanjutan

$$WOR = \frac{q_w}{q_o} \dots \dots \dots (1)$$

$$WOR' = \frac{dWOR}{dt} = \frac{WOR_2 - WOR_1}{t_2 - t_1} \dots (2)$$

### Laju Produksi Kritis

Memproduksi fluida hidrokarbon melalui sumur horizontal pada reservoir water drive dapat menyebabkan batas minyak-air (WOC) membentuk crest. Jika laju alir produksi yang dipasang semakin besar maka ketinggian crest diatas WOC awal juga akan semakin besar hingga mencapai suatu kondisi tertentu dimana crest akan menjadi tidak stabil dan pada akhirnya air akan masuk ke dalam sumur dan terproduksi ke permukaan. Laju alir produksi minyak maksimum yang tidak menimbulkan permasalahan seperti tersebut diatas disebut sebagai laju alir kritis terhadap water cresting.

Untuk menentukan besarnya laju alir kritis terhadap water cresting pada sumur horizontal, digunakan beberapa metode analitis seperti yang dijelaskan berikut.

#### a. Metode Chaperon

Chaperon (1986) mempelajari kelakuan cresting sumur horizontal pada formasi yang bersifat isotropi maupun anisotropi dengan asumsi ketinggian permukaan yang konstan pada jarak yang terbatas. Pendekatan yang dilakukan oleh Chaperon identik dengan pendekatan yang sebelumnya telah dilakukan oleh Muskat yaitu kondisi equilibrium harus tercapai terlebih dahulu. Pendekatan tersebut melibatkan potensi aliran viscous yang berhubungan dengan geometri aliran pada sumur horizontal. Sama halnya dengan pendekatan Muskat, kehadiran immobile water crest yang mengurangi bagian melintang dari aliran tidak menjadi pertimbangan pada metode Chaperon. Sejak Chaperon mengabaikan restriksi aliran karena immobile water crest tersebut maka teorinya memberikan laju alir kritis yang optimis. Berikut adalah persamaan Chaperon yang digunakan dalam menentukan besarnya laju alir kritis.

Untuk  $1 \leq \alpha'' < 70$  and  $2X_e < 4L..$

$$q_c = \frac{4.888 \times 10^4 L k_h h^2 (\rho_w - \rho_o)}{X_e \mu_o B_o} F \dots \dots \dots (3)$$

Selain itu Chaperon juga memodifikasi persamaan 3 sehingga dapat diaplikasikan pada reservoir gas seperti yang terlihat dibawah ini:

$$q_c = \frac{4.4 \times 10^{-8} L k_h h^2 (\rho_w - \rho_g)}{y_e B_g \mu_g} F \dots \dots \dots (4)$$

$F$  adalah fungsi tak berdimensi yang tergantung pada harga  $\alpha''$ .  $F$  dapat dianggap sebagai 4 dengan tingkat kesalahan maksimum sebesar 44% pada saat nilai  $\alpha'' = 70$ . Berikut adalah korelasi antara  $F$  dengan  $\alpha''$

$$F = 3.9624955 + 0.0616438(\alpha'') - 0.00054(\alpha'')^2 \dots \dots \dots (5)$$

Pada reservoir water drive, normalnya tekanan reservoir akan konstan sehingga kondisi pseudo-steady state tidak akan tercapai. Namun jika pada reservoir water drive tersebut aquifernya tidak dapat mensupport air untuk mempertahankan tekanan konstan, maka tekanan reservoir berangsur-angsur akan turun seiring dengan fluida reservoir yang terproduksi ke permukaan.

**b. Metode Boyun Guo dan R.L. Lee**

Guo dan Lee (1992) menyelidiki mekanisme water cresting secara grafis. Penelitiannya menunjukkan bahwa water crest yang tidak stabil terjadi pada beberapa kasus jika gradien tekanan di dasar sumur lebih besar dibandingkan gradien tekanan hidrostatik air. Dalam hal ini mereka menentukan laju alir kritis dengan menggunakan metode analitis maupun numerik dimana hasil yang didapatkan dari kedua metode tersebut tidak jauh berbeda. Namun penggunaan metode Guo dan Lee hanya terbatas pada sumur yang letaknya di dekat GOC/bagian teratas dari zone minyak pada sistem water cresting atau bagian terbawah dari zone minyak pada sistem gas cresting.

$$q_c = \frac{q_D k' d' \Delta \rho}{20231 \mu_o} \dots\dots\dots (6)$$

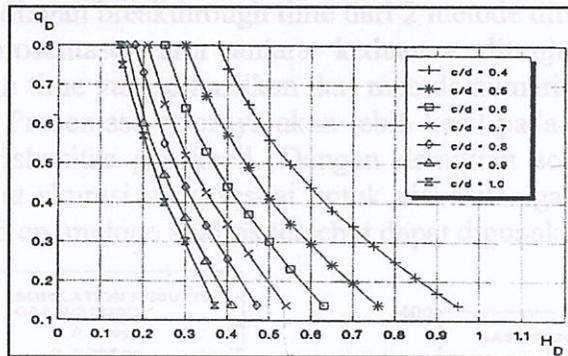
$$k' = \sqrt{k_v \times k_h} \dots\dots\dots (7)$$

$$d' = d \sqrt{\frac{k'}{k_v}} \dots\dots\dots (8)$$

$$H_D = 0.033(1.18 - 0.00246 d') (2.286 \Delta \gamma + 0.77)(100 - 67 L_w) (\log k' + 8.14) \log X_e \dots\dots\dots (9)$$

$$L_w = \frac{c}{d} \dots\dots\dots (10)$$

$q_D$  (laju alir kritis tak berdimensi) dapat ditentukan dari **Gambar 5** yaitu pada saat  $H_D$  dan  $c/d$  tertentu yang telah dihitung berdasarkan persamaan diatas.



Gambar 5. Solusi Laju Alir Kritis Tak Berdimensi ( $q_D$ ) (B. Guo dan R.L. Lee, 1992)

**Breakthrough Time**

Waktu Breakthrough Cresting dalam sistem water cresting didefinisikan sebagai waktu yang diperlukan oleh air untuk masuk ke dalam sumur, ditandai dengan meningkatnya watercut secara signifikan. Semakin kecil/singkat breakthrough timenya maka semakin kecil pula perolehan hidrokarbon dari suatu reservoir. Metode untuk memperkirakan waktu breakthrough dijelaskan pada bagian ini.

**a. Metode Papatzacos**

(Mekanisme Pendorong Gas Cap atau Water Drive Reservoir)

Memantapkan Peran UPN "Veteran" Yogyakarta dalam Mengembangkan Iptek Kebumihan untuk Pembangunan Berkelanjutan

Papatzacos (1989) telah menemukan solusi untuk memperkirakan besarnya breakthrough time di sumur horizontal pada reservoir gas cap drive atau water drive. Solusi tersebut bersifat semi analitis dengan asumsi sumur horizontal terletak di bagian atas maupun bawah dari zone minyak untuk menghindari terjadinya water/gas cresting. Pada dasarnya solusi tersebut dibedakan menjadi 2 kondisi. Kondisi pertama berasumsi bahwa baik gas maupun air dianggap berada pada kondisi constant pressure boundary. Berdasarkan asumsi tersebut maka didapatkan korelasi seperti dibawah ini :

$$t_{DBT} = 1/(6q_D) \dots \dots \dots (11)$$

Dimana :

$$q_D = \frac{325.86 \mu_o q_o}{L \sqrt{k_v k_h} h (\rho_o - \rho_g)} \dots \dots \dots (12)$$

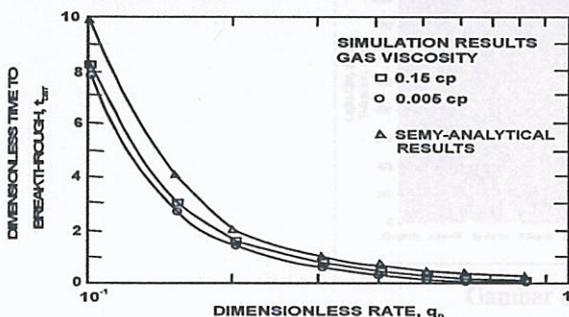
$t_{DBT}$  dan  $t_{BT}$  mempunyai hubungan sebagai berikut :

$$t_{DBT} = \frac{k_v (\rho_o - \rho_g)}{364.72 h \phi \mu_o} t_{BT} \dots \dots \dots (13)$$

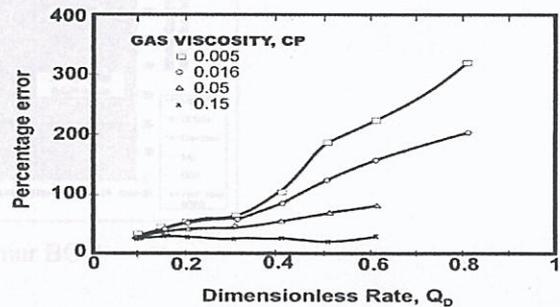
Papatzacos juga telah menemukan solusi semi-analitis dengan mempertimbangkan keseimbangan gravitasi pada crest sebagai pengganti persamaan 11. Breakthrough time tak berdimensi untuk  $q_D > 0.33$  dapat dihitung dengan persamaan berikut;

$$t_{DBT} = 1 - (3q_D - 1) \ln \left[ \frac{3q_D}{3q_D - 1} \right] \dots \dots \dots (14)$$

Papatzacos juga membandingkan hasil perhitungan breakthrough time secara semi-analitis dengan numerik. Perbandingan breakthrough time dari 2 metode ditunjukkan pada Gambar 6 sedangkan perkiraan prosentase error antara keduanya ditunjukkan pada Gambar 7. Normalnya, breakthrough time yang dihasilkan dari metode numeris lebih kecil dibandingkan dengan metode analitis. Prosentase errornya akan lebih kecil pada viskositas gas yang besar dibandingkan dengan viskositas gas kecil. Dengan demikian solusi secara analitis dapat digunakan dengan tingkat akurasi yang sesuai untuk viskositas gas dengan  $q_D \leq 0.3$ . Untuk viskositas gas diatas 0.15 cp, metode analitis tersebut dapat digunakan hingga  $q_D \leq 0.6$ .



Gambar 6. Perbandingan antara Breakthrough Time Analitis dengan Numerik Untuk Kasus Single-Crest Gas (Papatzacos, 1989)



Gambar 7. Prosentase Error antara metode Analitis dengan Numerik Untuk Kasus Single-Crest Gas (Papatzacos, 1989)

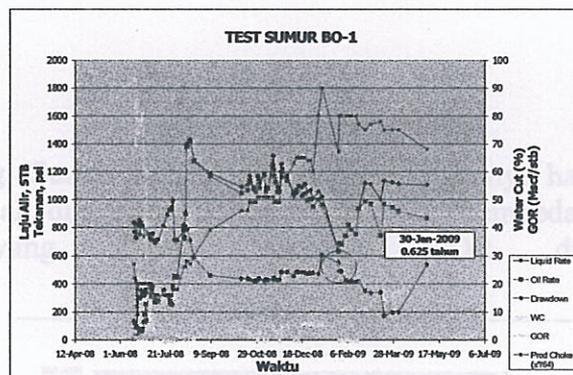
CONTOH KASUS

## Memantapkan Peran UPN “Veteran” Yogyakarta dalam Mengembangkan Iptek Kebumian untuk Pembangunan Berkelanjutan

Data yang diperlukan untuk identifikasi water/gas crestring, perhitungan laju alir kritis serta breakthrough time terhadap crestring adalah data reservoir dan data sumur seperti diperlihatkan pada Tabel 1. Sedangkan performance produksi untuk kedua sumur seperti terlihat pada Gambar 1 dan 2.

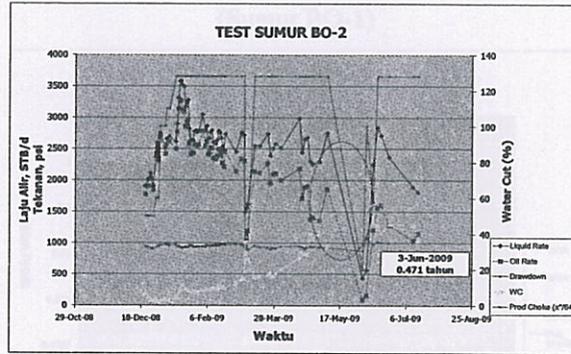
**Tabel 1**  
**Data Reservoir dan Data Sumur**

Parameter	Sumur Minyak		Dimensi
	BO-1	BO-2	
Porositas ( $\phi$ )	0.172	0.172	fraksi
Ketebalan (h)	57.48	62	ft
Luas Daerah Pengurasan (A)	3350769	3350769	ft <sup>2</sup>
Permeabilitas Vertikal (kv)	14.4	14.4	mD
Permeabilitas Horizontal (kh)	80	80	mD
Swc	0.69	0.69	fraksi
Sor	0.31	0.31	fraksi
Kro @Swc	0.4	0.4	mD
Krw @Sor	0.25	0.25	mD
Densitas Gas ( $\rho_g$ )	7.14	7.14	lb/cuft
Densitas Minyak ( $\rho_o$ )	53.5	53.5	lb/cuft
Densitas Air ( $\rho_w$ )	62.4	62.4	lb/cuft
$\alpha$ API	34	34	
GOC (TVD)	4865	4865	ft
WOC (TVD)	4942	4942	ft
Kedalaman Sumur	4884.52	4880	ft
Panjang Bagian Horizontal (L)	1500	1500	ft
Jari-jari Pengurasan (Xc)	1783.017	1783.017	ft



Gambar 8. Test Sumur BO-1

Memantapkan Peran UPN "Veteran" Yogyakarta dalam Mengembangkan Iptek Kebumihan untuk Pembangunan Berkelanjutan



Gambar 9. Test Sumur BO-2

Gambar 11. Diagnostic Plot Water Cresting dan Channeling Pada Akhir Periode (Sumur BO-2)

Perhitungan K.S. Chan Diagnostic Plot

Dalam pembuatan diagnostic plot, langkah pertama adalah menghitung WOR dan WOR derivatif pada setiap waktu dengan menggunakan Persamaan 1 dan 2. Dibawah ini adalah contoh perhitungan yang diambil dari Sumur BO-2 pada satu waktu produksi. Hasil untuk waktu produksi yang lain diplot seperti terlihat pada Gambar 10 untuk sumur BO-1, dan Gambar 11 untuk sumur BO-2.

$$WOR_1 = \frac{q_w}{q_o} = \frac{67}{2369.23} = 0.02828$$

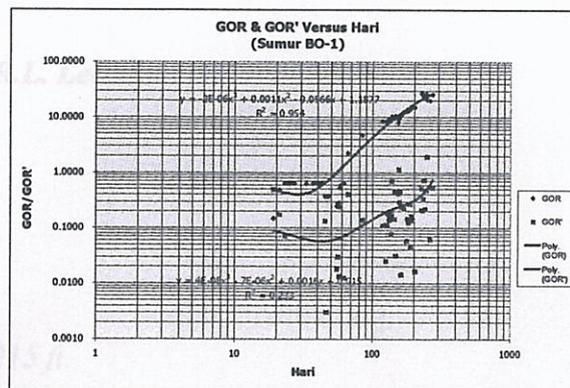
$$WOR_2 = \frac{2527.52}{68.3} = 0.02702$$

$$WOR' = \frac{dWOR}{dt} = \left| \frac{WOR_2 - WOR_1}{t_2 - t_1} \right|$$

$$= \left| \frac{0.02702 - 0.02828}{18 - 17} \right|$$

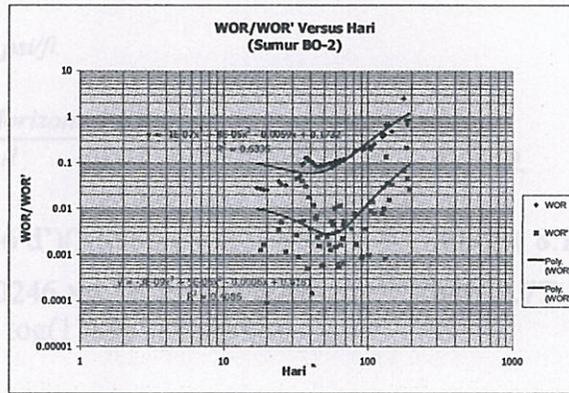
$$= 0.00126$$

Pada kasus gas cresting (Sumur BO-1), proses perhitungannya hampir sama dengan kasus water cresting yang telah dijelaskan diatas tetapi yang membedakan hanyalah WOR dan WOR derivatif yang diganti dengan GOR dan GOR derivatif.



Gambar 10. Diagnostic Plot Gas Cresting dan Channeling Pada Akhir Periode

(Sumur BO-1)



Gambar 11. Diagnostic Plot Water Cresting dan Channeling Pada Akhir Periode (Sumur BO-2)

### Perhitungan Laju Alir Kritis

Ada beberapa metode yang dapat digunakan untuk menghitung besarnya laju alir kritis. Dalam hal ini digunakan metode Chaperon dan metode Guo&Lee pada sumur minyak khusus untuk problem water cresting.

#### Laju Alir Kritis Sumur Minyak

Contoh perhitungan laju alir kritis minyak dengan menggunakan metode Chaperon dan metode Guo&Lee diambil dari data sumur BO-2

#### **Metode Chaperon**

$$\alpha'' = \left( \frac{X_c}{h} \right) \sqrt{\frac{k_v}{k_h}} = \left( \frac{1783.017}{62} \right) \sqrt{\frac{14.4}{80}}$$

$$= 12.201$$

$$F = 3.9624955 + 0.0616438(\alpha'') - 0.00054(\alpha'')^2 = 4.634$$

$$q_c = \frac{4.888 \times 10^{-4} L k_h h^2 (\rho_o - \rho_g) F}{X_c \mu_o B_o}$$

$$q_c = \frac{4.888 \times 10^{-4} \times 1500 \times 80 \times 62^2 (1 - 0.855)}{1783.017 \times 0.4853 \times 1.34967} \times 4.634$$

$$= 129.753 \text{ STB/d.}$$

#### **Metode Boyun Guo & R.L. Lee**

$$k' = \sqrt{k_v \times k_h} = \sqrt{14.4 \times 80}$$

$$= 33.9411 \text{ mD.}$$

$$d' = d \sqrt{\frac{k'}{k_v}}$$

$$= 77 \times \sqrt{\frac{33.9411}{14.4}} = 118.215 \text{ ft.}$$

$$\Delta\rho = \rho_w - \rho_o$$

## Memantapkan Peran UPN "Veteran" Yogyakarta dalam Mengembangkan Iptek Kebumihan untuk Pembangunan Berkelanjutan

$$= 62.4 - 53.35 = 9.05 \text{ lb/cuft.}$$

$$\Delta\gamma = \frac{\Delta\rho}{144} = \frac{9.05}{144} = 0.06284 \text{ psi/ft.}$$

$$L_w = \frac{c}{d} = \frac{WOC - \text{Depth Horizontal section}}{d} \quad L_w = \frac{4942 - 4880}{77} = 0.8052.$$

$$H_D = 0.033(1.18 - 0.00246 d')(2.286\Delta\gamma + 0.77)(100 - 67L_w)(\log k' + 8.14) \log X_e$$

$$H_D = 0.033 \times (1.18 - 0.00246 \times 118.215) \times (2.286 \times 0.06284 + 0.77) \times (100 - 67 \times 0.8052) \times (\log 33.9 + 8.14) \times \log(1783)$$

$$= 38.82 \%$$

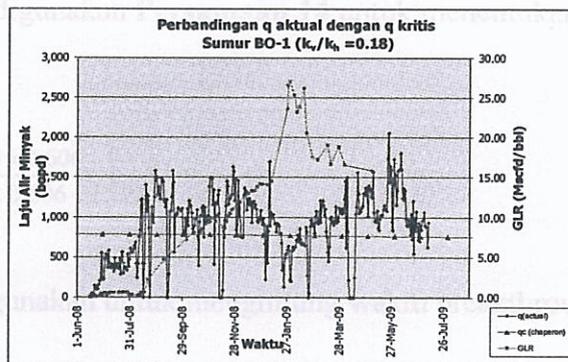
Dari **Gambar 5** diperoleh harga  $q_D$  saat  $H_D = 38.82 \%$  dan  $c/d = 0.8052$  adalah 0.3 sehingga laju alir kritis dapat ditentukan dari **Persamaan 6**

$$q_c = \frac{q_D k' d' \Delta\rho L}{20231\mu_o}$$

$$q_c = \frac{0.3 \times 33.9411 \times 118.215 \times 9.05 \times 1500}{20231 \times 0.4853}$$

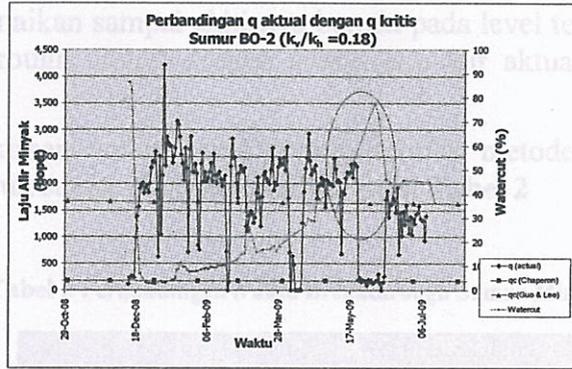
$$= 1664.194 \text{ bbl/d.}$$

Hasil perhitungan laju alir kritis Sumur BO-1 dan Sumur BO-2 dibandingkan dengan laju alir aktualnya seperti terlihat pada **Gambar 12** dan **Gambar 13**.



Gambar 12. Perbandingan  $q$  aktual dengan  $q$  kritis (Sumur BO-1)

## Memantapkan Peran UPN "Veteran" Yogyakarta dalam Mengembangkan Iptek Kebumihan untuk Pembangunan Berkelanjutan



Gambar 13. Perbandingan q aktual dengan q kritis (Sumur BO-2)

### Perhitungan Waktu Breakthrough

#### Waktu Breakthrough Teoritis (Papatzacos)

Papatzacos menemukan suatu solusi untuk memperkirakan waktu breakthrough teoritis sumur minyak yang bertenaga pendorong gas cap atau air. Contoh perhitungan waktu breakthrough adalah sebagai berikut;

Dari **Persamaan 12**, besarnya laju alir tak berdimensi adalah

$$q_D = \frac{325.86 \mu_o q_o}{L \sqrt{k_v k_h} h (\rho_w - \rho_o)}$$

$$= \frac{325.86 \times 0.488 \times 1743.665}{1500 \times \sqrt{14.4 \times 80} \times 62 \times (1 - 0.855)}$$

$$= 0.606$$

Karena  $q_D > 0.33$  maka digunakan **Persamaan 14** untuk menentukan  $t_{DBT}$

$$t_{DBT} = 1 - (3q_D - 1) \ln \left[ \frac{3q_D}{3q_D - 1} \right]$$

$$t_{DBT} = 1 - (3 \times 0.606 - 1) \ln \left[ \frac{3 \times 0.606}{3 \times 0.606 - 1} \right]$$

$$t_{DBT} = 0.275$$

**Persamaan 13** dapat digunakan untuk menghitung waktu breakthrough  $t_{BT}$

$$t_{BT} = \frac{364.72 \times h \times \phi \times \mu_o \times t_{DBT}}{k_v (\rho_w - \rho_o)}$$

$$t_{BT} = \frac{364.72 \times 62 \times 0.22 \times 0.488 \times 0.275}{14.4 \times (1 - 0.855)}$$

$$t_{BT} = 403.24 \text{ hari} \approx \mathbf{1.105 \text{ tahun.}}$$

#### Waktu Breakthrough Aktual

Waktu breakthrough aktual dapat ditentukan dari perilaku gas/air yang direpresentasikan pada plot GOR/watercut terhadap waktu (**Gambar 13 dan Gambar 14**) serta dipertimbangkan juga terhadap plot perbandingan laju alir aktual dan kritisnya (**Gambar 11 dan Gambar 12**). Waktu yang diperlukan oleh gas/air dari mulai awal sumur berproduksi hingga saat GOR/

## Memantapkan Peran UPN "Veteran" Yogyakarta dalam Mengembangkan Iptek Kebumihan untuk Pembangunan Berkelanjutan

watercut mengalami kenaikan sampai akhirnya berada pada level tertinggi dapat diasumsikan sebagai waktu breakthrough aktual dengan syarat laju alir aktual telah melebihi laju alir kritisnya.

Hasil perhitungan perkiraan waktu breakthrough teoritis metode Papatzacos serta waktu breakthrough aktual untuk sumur minyak disajikan pada **Tabel 2**

**Tabel 2 Perbandingan Waktu Breakthrough Sumur Minyak**

Sumur	Indikasi	qo Rata-rata bbl/d	Waktu Breakthrough t <sub>BT</sub> (tahun)	
			Papatzacos	Aktual
BO-1	Gas Cresting	916	1.430	0.625
BO-2	Water Cresting	1743.6	1.104	0.471

### Analisa Sensitivitas $k_v/k_h$

Proses analisa sensitivitas dilakukan terlebih dahulu dengan menghitung besarnya waktu breakthrough Papatzacos tiap sumur untuk berbagai macam harga  $k_v$ , seperti terlihat pada **Tabel 3** dan **Tabel 4**.

Dari tabel analisa sensitivitas untuk sumur BO-1 dan BO-2 tersebut, kemudian dibuat plot antara permeabilitas vertikal ( $k_v$ ) terhadap waktu breakthrough (t<sub>BT</sub>) seperti terlihat pada **Gambar 14**, Berdasarkan plot tersebut didapatkan hubungan antara keduanya untuk masing-masing sumur yang dinyatakan dalam persamaan garis.

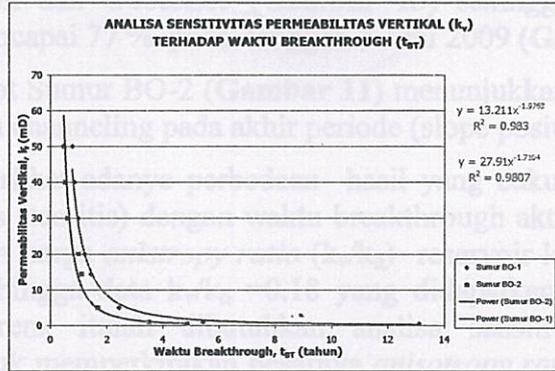
**Tabel 3 Analisa Sensitivitas Sumur BO-1**

t <sub>BT</sub> aktual = 0.625 tahun				
k <sub>v</sub>	qD	tDBT	tBT (hari)	tBT (tahun)
0.5	0.361	0.787	4784.733	13.109
1	0.255	0.653	1985.263	5.439
5	0.114	1.460	887.836	2.432
<b>14.4</b>	<b>0.067</b>	<b>2.478</b>	<b>523.163</b>	<b>1.433</b>
20	0.057	2.920	443.918	1.216
30	0.047	3.576	362.458	0.993
40	0.040	4.129	313.898	0.860
50	0.036	4.617	280.759	0.769

**Tabel 4 Analisa Sensitivitas Sumur BO-2**

t <sub>BT</sub> aktual = 0.471 tahun				
k <sub>v</sub>	qD	tDBT	tBT (hari)	tBT (tahun)
0.5	3.253	0.053	1778.456	4.872
1	2.300	0.076	1277.128	3.499
5	1.029	0.183	613.354	1.680
<b>14.4</b>	<b>0.606</b>	<b>0.347</b>	<b>403.240</b>	<b>1.105</b>
20	0.514	0.433	362.621	0.993
30	0.420	0.590	329.366	0.607
40	0.364	0.774	324.141	0.526
50	0.325	0.512	171.661	0.470

## Memantapkan Peran UPN "Veteran" Yogyakarta dalam Mengembangkan Iptek Kebumihan untuk Pembangunan Berkelanjutan



Gambar 14. Analisa Sensitivitas  $k_v$  Terhadap  $t_{BT}$

Di bawah ini adalah contoh perhitungan  $k_v/k_h$  untuk sumur BO-2 :

Persamaan yang digunakan:  $y = 13.211x^{-1.9763}$ , dimana  $y = k_v$  dan  $x = t_{BT}$

$t_{BT}$  aktual = 0.471 tahun, sehingga harga  $k_v$  saat  $t_{BT}$  aktual adalah

$$k_v = 13.211 \times 0.471^{-1.9763}$$

$$k_v = 58.441 \text{ mD} ,$$

$$k_v / k_h = \frac{58.441}{80} = 0.731$$

Proses perhitungan  $k_v$  diatas juga berlaku bagi sumur BO-1 hanya perbedaannya terletak pada persamaan garis yang digunakan.

Persamaan sumur BO-1 :  $y = 27.91x^{-1.7104}$

Sehingga harga  $k_v/k_h$  aktual sumur BO-1 adalah 0.78.

Setelah  $k_v/k_h$  hasil analisa sensitivitas diketahui, laju alir kritis dari metode Chaperon maupun Guo&Lee untuk masing-masing sumur dapat ditentukan melalui proses yang telah dijelaskan sebelumnya.

### PEMBAHASAN

Sumur BO-1 merupakan sumur minyak yang peningkatan harga GORnya cukup signifikan (**Gambar 8**). Selain itu laju produksi aktual yang melampaui laju produksi kritisnya semakin memperjelas bahwa telah terjadi problem gas cresting pada sumur ini (**Gambar 12**). Hal ini dapat terbukti dari peningkatan harga GOR yang cukup signifikan mencapai 26.99 bbl/Mscfd akibat sumur diproduksi melampaui laju alir kritisnya pada kisaran tanggal 14 Agustus 2008 hingga 1 Januari 2009. Setelah waktu tersebut, perusahaan menurunkan laju produksinya hingga dibawah laju alir kritis sehingga GOR secara perlahan mengalami penurunan.

Selain itu K.S Chan Diagnostic Plot juga memperlihatkan terjadinya problem gas cresting kemudian channeling pada sumur BO-1 yang ditunjukkan pada **Gambar 10**.

Sumur BO-2 dapat dipastikan telah mengalami problem water cresting. Hal ini disebabkan karena hampir pada keseluruhan waktu produksi, sumur BO-2 diproduksi melampaui laju alir kritis dari Chaperon dan Guo&Lee (**Gambar 13**) sehingga menyebabkan kenaikan watercut yang tinggi mencapai 77 % pada tanggal 3 Juni 2009 (**Gambar 9**).

Selain itu Diagnostic Plot Sumur BO-2 (**Gambar 11**) menunjukkan terjadinya water cresting (slope negatif) kemudian channeling pada akhir periode (slope positif).

Berdasarkan **Tabel 2** terlihat adanya perbedaan hasil yang cukup signifikan antara waktu breakthrough Papatzacos (teoritis) dengan waktu breakthrough aktual. Hal ini dimungkinkan karena keheterogenitasan harga *anisotropy ratio* ( $k_v/k_h$ ) reservoir karbonat pada setiap lokasi di reservoir tersebut sehingga data  $k_v/k_h = 0.18$  yang didapatkan dari analisa core kurang representatif. Oleh karena itulah dibutuhkan analisa sensitivitas berdasarkan waktu breakthrough aktual untuk memperkirakan besarnya *anisotropy ratio* pada setiap lokasi yang ditembus oleh sumur.

Analisa sensitivitas bertujuan untuk memperkirakan besarnya *anisotropy ratio* ( $k_v/k_h$ ) baru pada lokasi yang ditembus sumur minyak dengan cara menyelaraskan (*matching*) antara waktu breakthrough Papatzacos dengan waktu breakthrough aktual sehingga pada akhirnya *anisotropy ratio* ( $k_v/k_h$ ) baru tersebut dapat digunakan untuk menentukan besarnya laju alir kritis yang sesuai untuk sumur yang sudah mengalami breakthrough.

## KESIMPULAN

1. Terjadinya gas cresting maupun water cresting pada sumur minyak dapat diidentifikasi dari K.S Chan diagnostic Plot (log-log plot GOR&GOR' terhadap waktu untuk kasus gas cresting serta log-log plot WOR&WOR' terhadap waktu untuk kasus water cresting).
2. Terjadinya Gas/Water cresting terjadi karena sumur diproduksi melebihi laju produksi kritis terhadap Gas/Water cresting
3. Sumur BO-1 mengalami gas cresting dan BO-2 telah mengalami problem water cresting.
4. Analisa sensitivitas berdasarkan waktu breakthrough aktual menghasilkan harga  $k_v/k_h(\text{aktual})$  pada Sumur BO-1 dan BO-2 berturut-turut adalah 0.78, 0.731.

## REFERENSI :

1. Chaperon, I., "Theoretical Study of Coning Toward Horizontal and Vertical Wells in Anisotropic Formations: Subcritical and Critical Rates," paper SPE 15377 presented at the SPE 61<sup>st</sup> Annual Technical Conference and Exhibition, New Orleans, Louisiana, October 5-8, 1986.
2. Giger, F.M., "Analytic 2-D Models of Water Cresting Before Breakthrough for Horizontal Wells," SPE Reservoir Engineering, pp. 409-416, November, (1989).
3. Guo, B. dan Lee, R.L., "Determinataion of The Maximum Water-Free Production Rate of a Horizontal Well with Water/Oil Interface Cresting," paper SPE 24324 presented at the SPE Rocky Mountain Regional Meeting, Casper, WY, May 18-21, 1992.
4. Joshi, S. D., "Horizontal Well Technology", McGraw-Hill Publishing Co., New York (1990).

## Memantapkan Peran UPN "Veteran" Yogyakarta dalam Mengembangkan Iptek Kebumian untuk Pembangunan Berkelanjutan

5. K. S. Chan, "Water Control Diagnostic Plots", paper SPE 30775 presented at SPE Annual Technical Conference and Exhibition, Dallas, USA, October 22-25, 1995.
6. Papatzacos, P., T. R. Herring, R. Martinsen, and S. M. Skjaeveland, "Cone Breakthrough Time for Horizontal Wells," paper SPE 19822 presented at the SPE 64<sup>th</sup> Annual Technical Conference and Exhibition, San Antonio, Texas, October 8-11, 1989.

### Sari

Saat ini semua industri menggunakan teknologi, termasuk di industri perminyakan. Hal-hal yang waktu lampau tidak bisa dikerjakan karena suatu proses perhitungan yang rumit tetapi sekarang sudah tidak menjadi suatu persoalan lagi. Dengan kemajuan teknologi dibidang komputer, maka terciptalah software-software yang bisa membantu pekerjaan-pekerjaan perhitungan, sehingga hasil yang didapat menjadi cepat, akurat dan efisien. Salah satu software yang digunakan untuk menganalisa uji tekanan, adalah simulator Saphir.

Simulator Saphir versi 3.20 dikembangkan untuk menganalisis hasil uji sumur. Langkah kerja analisis *Pressure Build Up* dengan menggunakan simulator tersebut terdiri dari empat tahap utama, yaitu: inialisasi, *input data*, ekstrak Delta P dan analisis model. Hasil analisis *Pressure Build Up* adalah valid, jika tahapan kerja analisis dilakukan dengan benar dan semua data yang dibutuhkan adalah valid.

Hasil akhir dari analisa tekanan dengan menggunakan simulator ini adalah mengetahui karakteristik reservoir, meliputi tekanan reservoir, permeabilitas formasi, skin dan kondisi batas reservoir.

### Abstract

Nowadays, all industries use technology including in petroleum industry. Impossible cases to be calculated in the past are not problem again, since the technology can handle the problem. Advance of technology computer can establish some softwares which can help work to be fast, accurate and effectent. One of softwares used to well test analysis is saphir simulator.

Saphir simulator version 3.20 is used to well test analysis. The *Pressure Build Up* analysis consists of four steps, i.e. initialization, data input, extracting to delta P, and model analysis. Result of pressure build up will be valid if all steps and data are accurate.

The results of the pressure analysis using Saphir simulator version 3.20 is to know the reservoir characteristics, i.e. reservoir pressure, formation permeability, skin and finite reservoir condition.

## 1. PENDAHULUAN

Kemajuan teknologi dibidang komputer, mendorong para programmer menciptakan software-software aplikasi, termasuk aplikasi software dibidang industri perminyakan. Salah satu software yang populer adalah simulator saphir, yang digunakan untuk menganalisa well test (test tekanan sumur).